

**INGV-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia**  
**Sezione di Milano-Pavia**

## **Modifica del codice SeisRisk III per l'utilizzo con dati di intensità**

a cura di Augusto Antonio Gómez Capera e Dario Ivano Sudati

Milano, maggio 2005



## **Riassunto**

Il codice SeisRisk III calcola la pericolosità sismica usando parametri di scuotimento che hanno modelli di attenuazione di tipo esponenziale (es. valore di picco di accelerazione, PGA), con distribuzione log-normale dei residui e la corrispondente deviazione standard. SeisRisk III è stato adattato per poter essere utilizzato con dati di intensità attraverso modifiche che permettono di considerare una distribuzione normale dei residui dei dati di intensità. Il codice accetta valori di intensità come variabile reale nella tabella di attenuazione del file input e la relativa deviazione standard, utilizzando un fattore di scala pari a 12.0.

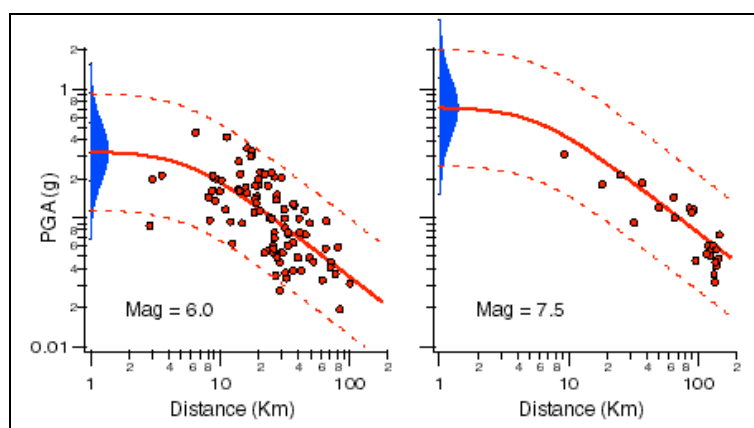
## 1. Definizione del problema

SeisRisk III è un codice sviluppato per calcolare la pericolosità sismica (Bender and Perkins, 1987) e rappresenta un aggiornamento di SeisRisk II (Bender and Perkins, 1982). Le versioni del codice sorgente di SeisRisk III per *dos* (Arnold, 1989), *mac* (Hanson *et al.*, 1992), *os2*, *vms*, *unix* si trovano online: <http://eqhazmaps.usgs.gov/html/swmain.html>.

Il codice è stato sviluppato per essere usato con parametri di scuotimento che hanno relazioni di attenuazione di tipo esponenziale (es. Tab. 1) e distribuzione log-normale dei residui, la cui dispersione viene quantificata tramite la deviazione standard ( $\sigma$ ) che rappresenta un parametro input del codice. La figura 1 mostra un esempio di relazione di attenuazione, quella proposta da Boore, Joyner e Fumal (1997), con il confronto tra la dispersione delle osservazioni e il modello teorico.

Equazione di attenuazione in PGA	$\sigma$	Autore
$\log(\text{PGA}) = -0.105 + 0.229(M-6) - 0.778 \log r + 0.162G_B + 0.251G_C$ $G_B=0, G_C=0.48$ (Class A) $G_B=1, G_C=0.118$ (Class B) $G_B=0, G_C=1.105$ (Class C)	0.230	Boore <i>et al.</i> 1997
$\log(\text{PGA}) = -1.48 + 0.266M - 0.922 \log r + 0.117S_A + 0.124S_S$ con $r = (d^2 + 3.5^2)^{1/2}$ $S_A=0, S_S=0.106$ (Rock); $S_A=1, S_S=0.226$ (Stiff soil) $S_A=0, S_S=1.81$ (Soft soil); $S_A=0, S_S=1.3$ (Very soft soil)	0.25	Ambraseys <i>et al.</i> , 1996
$\log(\text{PGA}) = -1.562 + 0.306M - \log(R^2 + 5.8^2)^{1/2} + 0.169S$ $S=0$ (Stiff and deep soil); $S=1$ (Shallow soil)	0.173	Sabetta and Pugliese, 1987
$\log(\text{PGA}) = -1.02 + 0.249M - \log r + 0.00255r$ con $r = (d^2 + 7.3^2)^{1/2}$	0.26	Joyner and Boore, 1981

**Tab. 1.** Esempi di equazioni di attenuazione in PGA (valore di picco di accelerazione), dove  $r$ =distanza ipocentrale,  $d$ =distanza epicentrale,  $R$  distanza dalla faglia,  $M$ =magnitudo,  $\sigma$  è la deviazione standard.

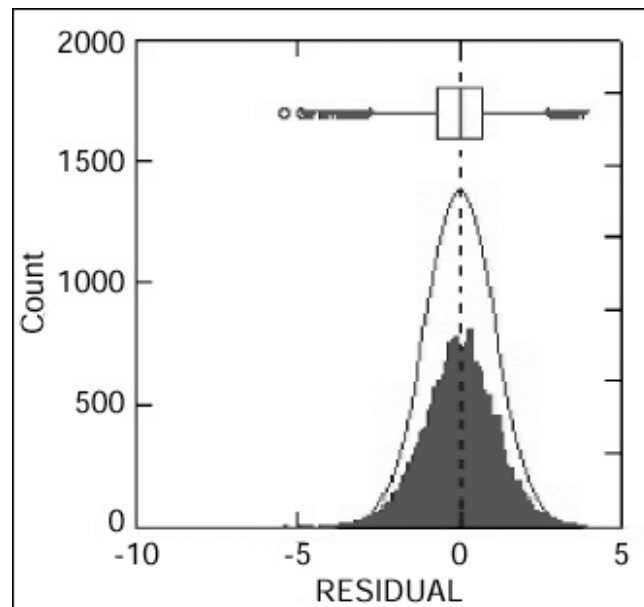


**Fig. 1.** Esempio di variabilità dell'accelerazione secondo il modello di attenuazione di Boore, Joyner e Fumal (1997). La linea spessa è il valore della mediana:  $\ln(\text{PGA}) = 0.53(M-6) - 0.39 \ln(D^2 + 31) + 0.25$  con deviazione standard  $\sigma = 0.5$ ; le curve tratteggiate rappresentano l'intervallo di confidenza compreso tra il 5 e il 95%. I cerchi sono osservazioni relative a terremoti della California meridionale, con magnitudo comprese entro 0.2 unità da quelle indicate. La curva gaussiana di colore blu rappresenta la distribuzione normale dei valori calcolati a 1 km di distanza (da Field, 2000).

Al contrario le relazioni di attenuazione dell'intensità macrosismica hanno generalmente una espressione del tipo non esponenziale (es. Tab. 2) e i residui mostrano una distribuzione normale (Albarello e D'Amico, 2005) intorno all'intensità media (es. Fig. 2).

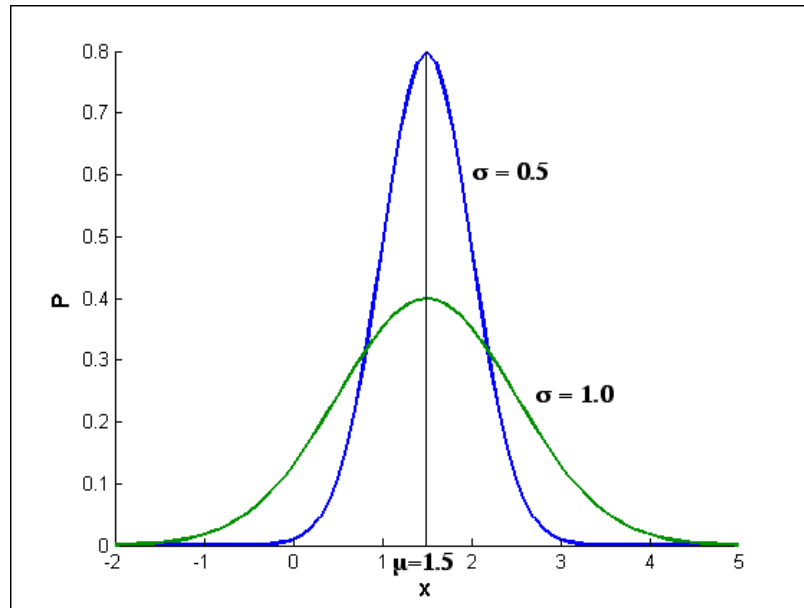
Equazione di attenuazione in intensità	$\sigma$	Autore
$I = 0.705 I_o + 3.6 - 0.003 r - 0.98 \ln r$ con $r = (D^2 + 10^2)^{1/2}$	1.25	Albarello and D'Amico, 2004
$I_o - I = \begin{cases} 0.445 + 0.059 r & (r \leq 45 \text{ km}) \\ 0.445 + 0.059(45) - 0.0207(r - 45) & (r > 45 \text{ km}) \end{cases}$ con $r = (D^2 + 10^2)^{1/2}$	1.04	Carletti and Gasperini, 2003
$I - I_o = -0.729 + 1.122 D^{1/3}$	1.085	Berardi <i>et al.</i> , 1993
$I = I_o - 2.2 \ln \left[ 1.54 \left( \frac{D_i}{9.3} - 1 \right) \right]$	-	Grandori, Perotti and Tagliani, 1.987

**Tab. 2.** Esempi di equazione di attenuazione in intensità; dove  $I_o$ =Intensità epicentrale,  $r$ =distanza ipocentrale,  $D$ =distanza epicentrale,  $D_i$ =distanza media dalle isosisme,  $\sigma$  è la deviazione standard.

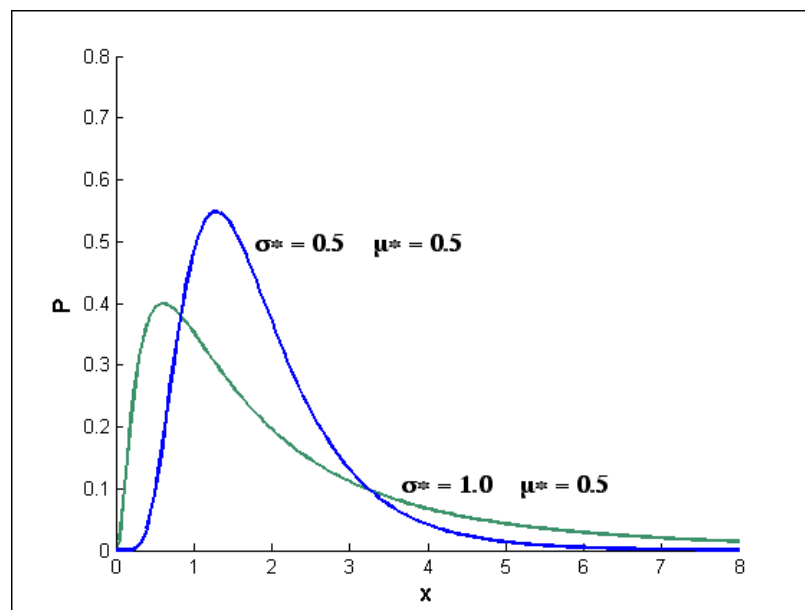


**Fig. 2.** Esempio di distribuzione dei residui secondo l'equazione di attenuazione in intensità di Albarello e D'Amico (2004). La curva rappresenta il modello teorico di distribuzione di probabilità normale con media 0 e deviazione standard 1.071, la cui è confrontata con la distribuzione dei residui (da Albarello and D'Amico, 2004).

Le figure 3 e 4 mostrano due esempi di distribuzione normale e log-normale con diversi valori di deviazione standard ( $\sigma=0.5$ ;  $\sigma=1.0$ ) e la stessa media ( $\mu=1.5$  per la curva normale e  $\mu^*=0.5$  per la curva log-normale) (Krumbein and Graybill, 1965).



**Fig. 3.** Due esempi di densità normale con la stessa media ( $\mu$ ) e diversi valori di deviazione standard ( $\sigma$ ).



**Fig. 4.** Due esempi densità log-normale con la media ( $\mu^*$ ) e diversi valori di deviazione standard ( $\sigma^*$ ).

Da quanto esposto finora ne consegue che il codice SeisRisk III non può essere utilizzato così come è. Per usare SeisRisk III con il parametro intensità il codice deve essere modificato per poter gestire una distribuzione normale dei residui; ovviamente occorre disporre di una relazione di attenuazione per la quale sia definita la deviazione standard.

## 2. Quali strategie per modificare il codice

### 2.1 Come SeisRisk III gestisce una distribuzione log-normale a partire della deviazione standard

SeisRisk III prende la deviazione standard  $\sigma$  indipendentemente della magnitudo e distanza (Bender, 1984); ciò permette a questo codice di tenere in considerazione la variabilità dell'accelerazione al fine dei calcoli. I valori di PGA vengono trasformati in logaritmo in modo che i residui abbiano una distribuzione normale intorno alla media: la media del logaritmo di PGA corrisponde al valore della mediana di PGA (Bender and Perkins, 1987).

Il codice accumula nel vettore  $reg(j)$  i valori della mediana del PGA in ogni intervallo  $a_{j-1} \leq a \leq a_j$ . E' definito un secondo vettore ( $regs(k)$ ) nel quale vengono accumulati i valori di PGA, in ogni intervallo  $a_{j-1} \leq a \leq a_j$ , dopo che è stata considerata la deviazione standard.

Il valore di ingresso nel vettore  $reg(j)$  è preso attraverso il PGA medio ( $\alpha$ ) secondo l'equazione 1:

$$\mu = \ln(\alpha) = \frac{\ln|a_{j-1}| + \ln|a_j|}{2} \quad (1)$$

In una distribuzione log-normale, noto  $\mu$ , la probabilità che il valore di PGA sia compreso nell'intervallo  $a_1 \leq a \leq a_2$  è data dall'area sotto l'integrale della distribuzione di probabilità normale (o gaussiana):

$$P(a_1, a_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{x=\ln a_1}^{\ln a_2} \exp\left(-\frac{(\ln PGA - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) d(\ln PGA) \quad (2)$$

Secondo l'equazione 2, la stessa metodologia è usata per calcolare la probabilità  $P(a_{j-1}, a_j)$  per ogni intervallo  $a_{j-1} \leq a \leq a_j$ , in questo modo il codice considera la variabilità di PGA che è accumulata nel vettore  $regs(k)$ .

### 2.2. Ipotesi di modifica di SeisRisk III per l'utilizzo con dati di intensità

Le occorrenze di intensità media, per ogni intervallo  $I_{j-1} \leq I \leq I_j$ , sono accumulate nel vettore  $reg(j)$ .

E' definito il vettore  $regs(k)$  per accumulare le occorrenze delle intensità  $I_{j-1} \leq I \leq I_j$ , dopo che la variabilità per le intensità è stata calcolata.

Dato il valore della intensità media  $\mu$ :

$$\mu = \frac{I_{j-1} + I_j}{2} \quad (3)$$

La probabilità di avere un valore di intensità nell'intervallo  $I_1 \leq I \leq I_2$  è l'area sotto l'integrale della distribuzione di probabilità normale:

$$P(I_1, I_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{I_1}^{I_2} \exp\left(-\frac{(I - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) dI \quad (4)$$

Per ogni intervallo  $I_{j-1} \leq I \leq I_j$  accumulato in  $reg(j)$  è calcolata la sua probabilità  $P(I_{j-1}, I_j)$ , questi valori sono accumulati nel vettore  $regs(k)$ .

### 3. Metodologia per le modifiche del codice SeisRisk III

I presupposti per la modifica del codice sono:

- Il codice non deve trasformare i dati di intensità che legge nella tabella di attenuazione dell'input in logaritmo di intensità.
- Il vettore che accumula i valori medi di logaritmo di PGA deve accumulare valori medi di intensità.

A partire da queste due premesse è stata modificata una *subroutine* del codice:

- **Riskx**

I commenti alle modifiche sono inseriti nel codice. Le altre *subroutines* non sono state modificate.

#### 3.1 Primo Step: Aggiornamento del file input

Gli adattamenti sui file di input sono tre:

- i) Cambiare la tabella di attenuazione e la relativa deviazione standard. La tabella è costituita da un massimo di otto colonne di intensità epicentrale e 20 righe di distanze epicentrali (in km).
- ii) Modificare il fattore di scala. Il fattore di scala ha il compito di trasformare gli intervalli  $I_{j-1} \leq I \leq I_j$  in modo che siano compatibili con i valori della tabella di attenuazione. Il fattore di scala ha valore 1.0 di *default*, che corrisponde a valori di scuotimento compresi tra 0.02 e 1.0. Per poter utilizzare le intensità macrosismiche, il fattore di scala deve essere pari a 12.0.
- iii) Esprimere i tassi delle zone sismogenetiche in intensità.

#### 3.2 Secondo Step: Modifica del codice: lettura della tabella di attenuazione dal file input

La lettura della tabella di attenuazione in funzione della distanza per ogni magnitudo inizia dopo la linea numerata 500 nel codice originale (*soubroutine* Riskx). Ogni elemento di questa tabella è trasformato in logaritmo nelle linee 570 e 610:

```
570 atab(m,j)=alog(atab(m,j))
610 aclog (i)=alog(ac(i))
```

Quando si lavora con i dati di intensità, la tabella di attenuazione nel *file* di input ha la stessa struttura appena descritta, ma gli elementi di questa tabella non devono essere trasformati in logaritmo di intensità perché i loro residui hanno una distribuzione normale (sezione 2.2). La modifica delle linee 570 e 610 consiste nel “non trasformare” in logaritmo i valori di scuotimento:

```
570 atab(m,j)=(atab(m,j))
610 aclog (i)=(ac(i))
```

#### 3.3 Terzo Step: Calcolo della variabilità della intensità

E' stata studiata la *subroutine* box che calcola i limiti degli intervalli in cui viene discretizzato lo scuotimento. A partire da questa *subroutine* il codice elabora la variabilità dell'accelerazione attraverso la *subroutine* outx. Queste *subroutine* non sono state modificate perché i dati che intervengono nei calcoli sono dati in intensità rappresentati



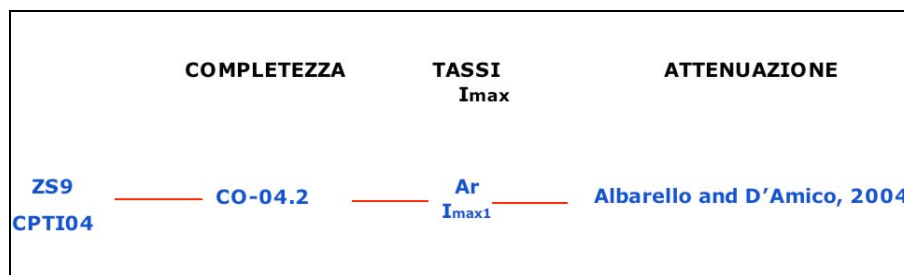
attraverso la variabile  $ac(i)$  che sono accumulati nel vettore  $reg(i)$ , e dopo calcolati in variabilità dell'intensità nel vettore  $regs(k)$ .

Il *debug* è stato fatto riga per riga per capire esattamente quali cicli e *subroutine* entrano in gioco per l'utilizzo della deviazione standard e del fattore di scala. Come ulteriore verifica è stato controllato che un calcolo di hazard in intensità senza deviazione standard risultasse identico usando il codice originale e quello modificato, a riprova che le modifiche apportate non hanno influito sulla parte di calcolo senza sigma.

#### 4. Applicazione del codice modificato

Sono svolti 2 test utilizzando il codice modificato, per valutare se le uscite mostravano valori ragionevoli e comunque all'interno del range definito dalla scala di intensità macrosismica. Sono stati considerati i seguente elementi di input (Fig.5):

- Zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).
- Catalogo di terremoti CPTI04 (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).
- Completezza storica (Gruppo di Lavoro MPS, 2004).
- Modello d'attenuazione dell'intensità proposto da Albarello and D'Amico (2004)



**Fig. 5.** Elementi usati nella procedura applicata per la valutazione di  $I_{max}$  (10%/50 anni) nei due esempi. I tassi di sismicità sono illustrati in Tabella 3.

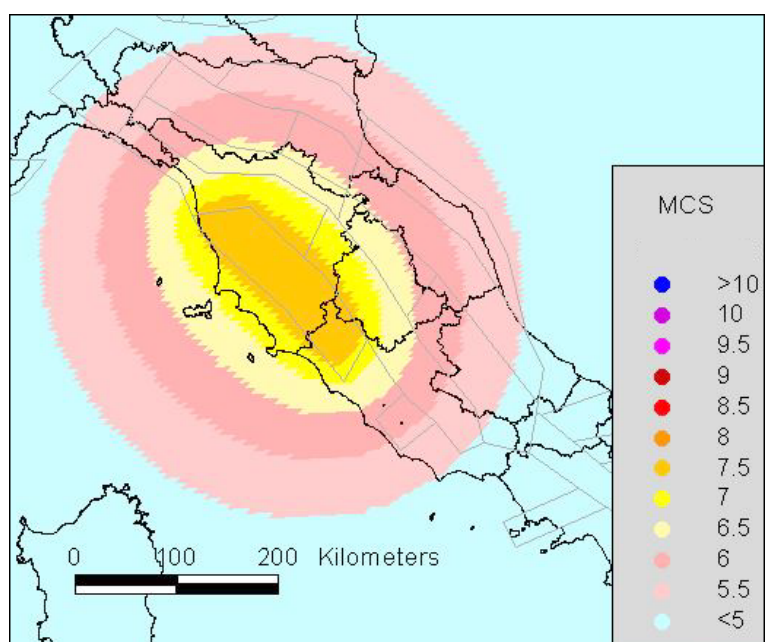
Zona Sorgente	Classi di intensità										
	6	6/7	7	7/8	8	8/9	9	9/10	10	10/11	11
ZS921	17,56	5,34	2,33	1,27	0,21	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZS930	9,35	0,93	0,47	0,00	0,93	0,47	0,21	0,42	0,00	2,99	0,00

**Tab. 3.** Tassi di sismicità valutate per le zone sorgenti usando completezza storica

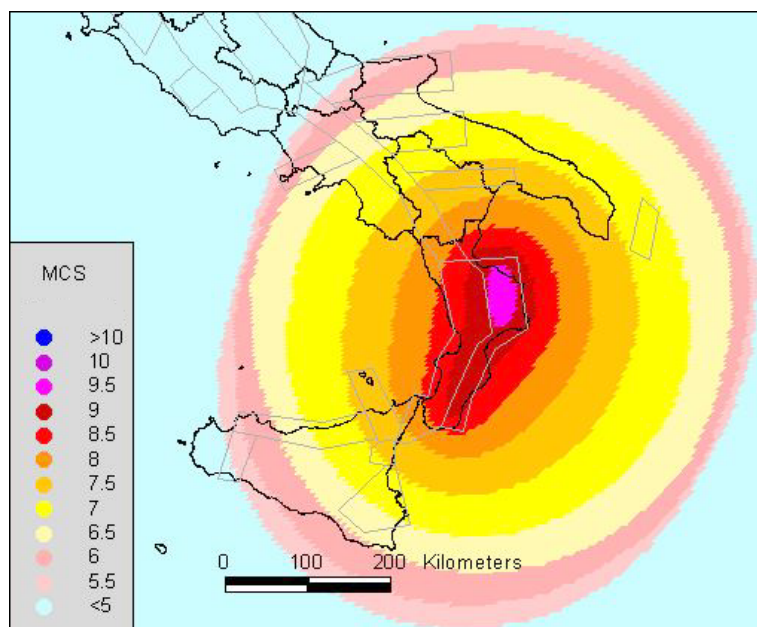
Sono state scelte 2 zone sorgente a differente livelli di sismicità, come risulta evidente dai tassi calcolati e riportati in Tab. 3. Il primo esempio (Fig. 6) riguarda la pericolosità sismica per l'Etruria (ZS921) e il secondo esempio (Fig. 7) valuta la pericolosità sismica per la Calabria ionica (ZS930).

L'equazione d'attenuazione dell'intensità macrosismica proposta da Albarello and D'Amico (2004) è riportata in Tab. 2.

Le distribuzioni di  $I_{max}$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni sono stata valutate con il codice SEISRISK III modificato nel presente lavoro.



**Fig. 6.** Distribuzione di pericolosità sismica ( $I_{max}$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) per la zona sorgente ZS921.



**Fig. 7.** Distribuzione di pericolosità sismica ( $I_{max}$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) per la zona sorgente ZS930.

## **Ringraziamenti**

Ringraziamo il Dr. Massimiliano Stucchi e il Dr. Carlo Meletti per la supervisione ed assistenza del lavoro svolto e per la revisione del manoscritto finale.

## **Bibliografia**

- Albarelo D. and D'Amico V., 2004. Attenuation relationship of macroseismic intensity in Italy for probabilistic seismic hazard assessment. *Bolletino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 454, 4, 271-284.
- Albarelo D. and D'Amico V., 2005. Validation of intensity attenuation relationships. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95, 2, 719-724.
- Ambraseys N.N., Simpson K.A. and Bommer J.J., 1996. Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 19, 1, 1-20.
- Arnold E. P., 1989. Program SEISRISK III Adapted to Personal Computers. U.S. Geological Survey Open-File Report 89-557.
- Bender B. and Perkins D., 1982. SEISRISK II: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation. U.S. Geological Survey Open File Report 82-293, 103pp.
- Bender B., 1984. Incorporating acceleration variability into seismic hazard analysis. *Bull. Seism. Soc. Am.* 74, 4, 1451-1462.
- Bender B. and Perkins D., 1987. SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation. U.S. Geological Survey Bulletin 1772.
- Berardi R., Petrongaro C., Zonetti L., Magri L. and Mucciarelli M., 1993. Mappe di sismicità per l'area italiana, ISMES/ENEL, 51 pp.
- Boore D.M., Joyner W.B. and Fumal T.E., 1997. Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: a summary of recent work. *Seism. Res. Letts.*, 68, 1, 128-153.
- Carletti F. and Gasperini P., 2003. Lateral variations of seismic intensity attenuation in Italy. *Geophys. J. Int.*, 155, 3, 839-856.
- Cornell C.A., 1968. Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 58, 1583-1606.
- Field E., 2000. Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) - A primer. [http://www.relm.org/tutorial\\_materials/PSHA\\_Primer/index.html](http://www.relm.org/tutorial_materials/PSHA_Primer/index.html)).
- Grandori G., Perotti F. and Tagliani A., 1987. On the Attenuation of macroseismic intensity with epicentral distance, in 3<sup>rd</sup> International Conference Soil Dynamics and Earthquakes Engineering, Princeton Ground Motion and Engineering Seismology, edited by A.S. Cakmak (Elsevier, Amsterdam), 581-594.
- Gruppo di Lavoro MPS, 2004. Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica, Rapporto conclusivo, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>
- Hanson S., Thenhaus P., Chapman-Wilbert M. and Perkins D., 1992. Analyst's Manual for USGS Seismic Hazard Programs Adapted to the Macintosh Computer System. U.S. Geological Survey Open-File Report 92-529, 64pp.
- Joyner W. B. and Boore D. M., 1981. Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California, earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 6, 2011-2038.
- Krumbein W. C. and Graybill F. A., 1965. An introduction to statistical models in geology. McGraw-Hill, 475pp.
- Sabetta F. and Pugliese A., 1987. Attenuation of peak horizontal acceleration and velocity from Italian strong-motion records. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 77, 5, 1491-1513.

